

UDC 622.7:662.613.1

<https://doi.org/10.15407/mining11.01.106>**УТИЛИЗАЦИЯ ЗОЛЫ-УНОСА ПРИДНЕПРОВСКОЙ ТЭС**Е. Перков<sup>1\*</sup>, Т. Перкова<sup>2</sup><sup>1</sup>Центр аналитико-технологических исследований, Национальный горный университет, Днепр, Украина<sup>2</sup>Кафедра гидрогеологии и инженерной геологии, Национальный горный университет, Днепр, Украина\*Ответственный автор: e-mail [perkov@i.ua](mailto:perkov@i.ua), тел. +380970451633**RECYCLING OF PRYDNIPROVSKA THERMAL POWER PLANT FLY ASH**Ye. Perkov<sup>1\*</sup>, T. Perkova<sup>2</sup><sup>1</sup>Analytical-Technological Research Centre, National Mining University, National Mining University, Dnipro, Ukraine<sup>2</sup>Hydrogeology and Engineering Geology Department, National Mining University, Dnipro, Ukraine\*Corresponding author: e-mail [perkov@i.ua](mailto:perkov@i.ua), tel. +380970451633**ABSTRACT**

**Purpose.** To confirm experimentally the feasibility of complete fly ash recycling at Prydniprovsk Thermal Power Plant (TPP) by its refining into industrially valuable products using gravity classification of dry ash from electrostatic precipitators and water-gravity separation of ash from a dump.

**Methods.** Classification of fly ash has been carried out on the modernized processing equipment in the laboratory in two ways. First, ash pneumatic separation was done directly from the electrostatic precipitators using a specially selected vibrating screen. The second way involved hydro-separation of the original product from the ash dump using the upgraded centrifuges and hydrocyclones.

**Findings.** Technological solution for complex processing of fly ashes, based on the “dry” gravitational separation of ash from electrostatic precipitators and “wet” gravitational separation of ash from thermal power plants and storage dumps has been developed. It is established that the addition of active ash up to 33% to 1 m<sup>3</sup> of concrete allows to save up to 25% of cement and increase strength of concrete structures up to 5%. Addition of products manufactured from thermal power plants waste for production of building materials allows to reduce the share of energy consumption up to 20 – 25%, which is essential for the competitiveness of construction products. A mixture of alumina-silica products can reduce clay usage in metallurgical industry to 50%. Carbon products are cheap substitutes for production of certain kinds of sorbents. The proposed project solution allows to reduce resource consumption, decrease human impact on the environment, and increase energy potential of the region.

**Originality.** The time dependence related to surface activity decrease of the resulting recycling products from the dry fly ash directly from electrostatic precipitators has been established. Recycling of fly ash into industrially useful products by dry gravity separation allows to achieve the best physical parameters of the raw materials with the highest specific activity.

**Practical implications.** Implementation of the research results will be instrumental in receiving such industrial products as: components in the manufacture of building materials (concrete, foam and aerated concrete, brick), heat insulating material, raw materials for steel industry, sorbents for chemical industry and deoxidants for metallurgical industry. The proposed technological solution is completely environmentally safe and non-waste.

**Keywords:** fly ash of thermal power plants, complex recycling, industrial products, resource-saving

**1. ВВЕДЕНИЕ**

В Украине ключевым энергоносителем является уголь. В результате его сжигания на теплоэлектростанциях образуется значительное количество золошлаковых отходов. Так, при сжигании углей на Приднепровской ТЭС ежегодно образуется 0.5 млн тонн золы, а ее утилизация является весьма острой задачей в связи с тем, что имеющиеся золохранили-

ща переполнены, занимают территорию в 200 га и служат постоянным источником загрязнения почвы, воздушного и водного бассейнов. При сжигании низкосортного угля значительно возрастает количество шлака, летучей золы, сернистого газа, оксидов азота, углерода и других соединений. Такие отходы сбрасываются в золоотвал путем гидротранспортировки. При этом значительная часть минеральной

составляющей сгоревшего и несгоревшего угля окисляется с образованием сернистых соединений, что в дальнейшем ведет к формированию кислотных и загрязненных стоков.

Согласно (Shpirt, 1986; Cherepanov & Kardash, 2009) уголь следует рассматривать не только как топливо, но и как сложное комплексное ископаемое, которое в процессе сжигания образует весьма ценное вторичное минеральное сырье. Доказано (Shabarov, Aleksandrova, & Nikolaeva, 2016; Hadbaatar, Mashkin, & Stenina, 2016), что накопленные объемы твердых отходов теплоэнергетики могут быть утилизированы с высоким экономическим эффектом. Однако применение золы в различных областях промышленности весьма ограничено в связи с неоднородностью ее состава и большим содержанием несгоревшего угля (до 25%). Важным фактом неудовлетворительного использования топливосодержащих отходов и альтернативных продуктов является отсутствие законодательного урегулирования в данной сфере. По сравнению с развитыми странами, где доля переработки золошлаковых отходов во вторичное сырье достигает до 90%, в Украине утилизация отходов ТЭС составляет не более 2%.

На сегодняшний день перспективным является малоосвоенный украинским рынком и промышленностью материал – микросферы зол-уносов (Teryaeva et al., 2013). Уникальное сочетание микросферического дизайна, низкой плотности, высокой механической прочности, термостабильности и химической инертности, обеспечили широкое применения микросфер за рубежом в качестве теплоизоляционных материалов, сорбентов, радиопрозрачных керамик, наполнителей композиционных материалов и специальных видов цемента. Наряду с этим, микросферы являются перспективным сырьем для получения на их основе катализаторов, адсорбентов и капсулирующих материалов, способных функционировать в условиях воздействия агрессивных сред и высокой температуры. Однако удельный вес утилизации этих ценных продуктов не превышает 8 – 10% объема их выхода.

Дополнительно из золы отдельных ТЭС возможно выделение не сгоревшего вторичного угля пригодного для повторного сжигания.

Одним из основных условий использования зол тепловых электростанций является производство для потенциальных потребителей зол со строго кондиционированными качественными характеристиками. Основным требованием, обеспечивающим успешное применение золных отходов ТЭС, является стабильность их физико-химических показателей и содержания остаточного топлива. Это позволит применять их в естественном не переработанном виде, либо в качестве исходных сырьевых компонентов при переработке в различные материалы и изделия. Данное требование может быть выполнено путем включения в технологическую цепочку переработки специальных силосов, рассчитанных на 2 – 3 суточную выработку классифицированной золы (Shabarov, Aleksandrova, & Nikolaeva, 2016).

## 2. МЕТОДИКА

Опытные работы по классификации зол-уносов производились в лабораторных условиях (с применением модернизированного стандартно выпускаемого горно-обоганительного оборудования) по двум основным направлениям:

- пневморазделение с использованием золы непосредственно с электрофильтров II и III полей блоков мощностью 300 МВт;
- гидроразделение с использованием исходного продукта из золоотвала.

Основной целью пневморазделения является переработка золы, отбираемой с электрофильтров в два промышленных продукта – с пониженным и повышенным содержанием углерода. Разделение зол-уносов производилось с использованием специально разработанного виброгрохота, оснащенного сеткой с ячейками 42 мкм и толщиной нити 30 мкм. Технологическая схема экспериментальной пневмокласификации зол-уносов приведена на Рисунке 1.

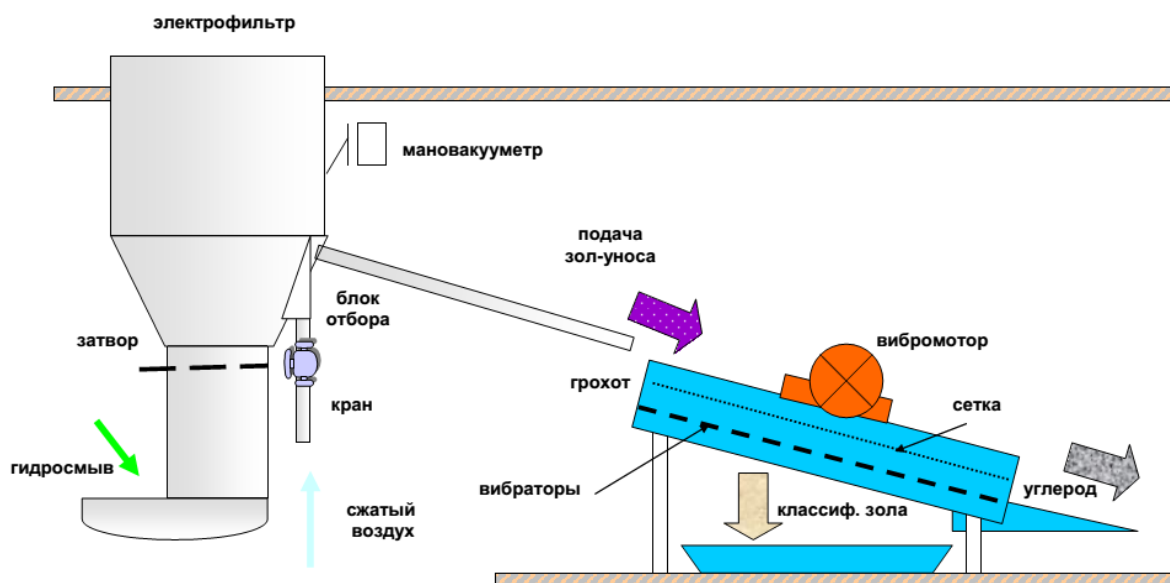


Рисунок 1. Технологическая схема пневмокласификации зол-уносов

Для отработки процесса водной классификации содержимого золонакопителей была разработана и создана модульная опытно-лабораторная установка. Основной целью гидроклассификации является переработка золы, находящейся в накопителях на землевотводах Приднепровской ТЭС, в пригодные для использования промышленные продукты.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При исследовании состава зол-уносов Приднепровской ТЭС зольностью 80% (негорючий остаток, который создается из минеральных примесей топлива при его полном сгорании) получены следующие показатели: удельный вес  $2200 - 2450 \text{ кг/м}^3$ ; объемная насыпная масса  $760 - 1000 \text{ кг/м}^3$ ; удельная поверхность  $2000 - 7000 \text{ см}^2/\text{кг}$ ; водопоглощение  $20 - 40\%$ ; водопотребность (при нормальной густоте)  $24 - 33\%$ ;

содержание несгоревших остатков  $12 - 20\%$ ; остаток на сите  $0.063 \text{ мм}$  не более  $20\%$ ; содержание  $\text{SiO}_2$ , не менее  $40\%$ ; содержание соединений  $\text{SO}_n$  не более  $5\%$ ; потеря массы при прокаливании не более  $0.8\%$ . Гранулометрические свойства, химический и минеральный состав золы представлены на Рисунке 2, Таблицах 1 и 2 соответственно.

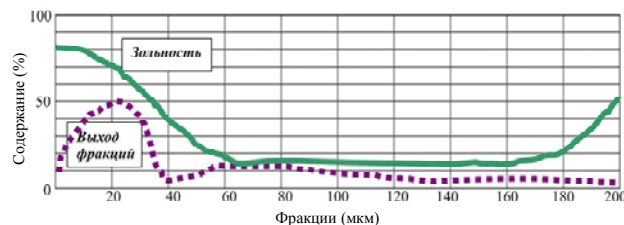


Рисунок 2. Гранулометрические свойства не переработанной золы-уноса

Таблица 1. Фракционный состав не переработанных зол-уносов по классам крупности (проба исходной золы весом  $1280 \text{ г}$ , зольностью  $80\%$ )

Фракции, выход и зольность											
0 – 40 мкм		40 – 50 мкм		63 – 80 мкм		80 – 100 мкм		125 – 160 мкм		160 – 200 мкм	
г/о	зольность, %	г/о	зольность, %	г/о	зольность, %	г/о	зольность, %	г/о	зольность, %	г/о	зольность, %
960/75	76.00	39/3	41.26	140/11	29.77	122/9.5	26.06	14/1.1	23.25	1.5/0.12	28.50

Таблица 2. Усредненный химический состав минеральной части зол-уносов, %

$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$
50 – 54	23 – 28	8 – 15	0.5 – 2.0	0.7 – 1.0	1 – 3	2 – 5	2.0 – 4.5	0.7 – 1.5

Экспериментально установлено, что в результате сухого отсева золы подаваемой с электрофильтров ТЭС, содержание углеродной составляющей по отдельным фракциям в интервале  $0.40 - 0.02 \text{ мм}$  снижалось с  $13 - 15\%$  до  $6 - 8\%$ . При сухом разделении золы-уносов были получены промпродукты с повышенным и пониженным содержанием углерода. Полученный промпродукт с повышенным содержанием углерода (более  $10\%$ ) по физико-химическим показателям является пригодным для использования в металлургической промышленности в качестве магнетитовой добавки. Промпродукт с пониженным ( $5 - 8\%$ ) содержанием углерода по своим свойствам является пригодным в строительной индустрии в качестве наполнителя и вяжущего материала. Показатели исследованных зол-уносов Приднепровской ТЭС соответствуют требованиям ГОСТ 25818-91, а зола является пригодной к переработке и дальнейшему использованию в качестве добавок к компонентам при изготовлении строительных материалов. В Таблице 3 приведено сопоставление основных получаемых продуктов из золы-уносов с природными материалами и их соответствие действующим ГОСТам, ДСТУ и ТУ по схеме гидроразделения.

На основе экспериментальных исследований разделения зол-уносов в воздушной и водной среде показана возможность получения до 13 продуктов альтернативного минерального сырья. Они обладают разным химическим и гранулометрическим составом, что определяет различные сферы потребления.

По схеме сухого разделения золы-уносов непосредственно с электрофильтров получены:

- 1) немагнитная фракция глиноземистого состава крупностью от  $0.7 \text{ мм}$  и мельче (является сырьем заместителем цемента);
- 2) микросферы черного и белого (светло-серого) цвета крупностью  $0.1 - 0.6 \text{ мм}$  (применяются как теплоизоляционные материалы и сорбенты);
- 3) магнитная фракция крупностью  $0.05 - 0.6 \text{ мм}$ , представленная магнетитом и карбидом железа (альтернативное металлургическое сырье);
- 4) углеродсодержащие фракции от  $1 \text{ мм}$  и мельче (вторичный уголь и компоненты в металлургической и химической промышленности).

По схеме гидроразделения золы-уносов с золоотвала получены:

- 1) магнитная фракция концентрата и промежуточного продукта стока, представленная магнетитом и карбидом железа крупностью  $0.05 - 0.6 \text{ мм}$  (является высококачественным сырьем для использования на различных технологических стадиях в сталелитейной промышленности);
- 2) немагнитная фракция концентрата стока крупностью  $0.1 - 0.6 \text{ мм}$ , представленная высокоглиноземистыми минералами и сферами черного и белого (светло-серого) цвета (применяется как наполнитель бетонов, продукт для гидрометаллургической или плазменной обработки);

Таблица 3. Соответствие получаемых продуктов из золы-уноса Приднепровской ТЭС природным аналогам

№ п/п	Полученные промышленные продукты (заместитель)	Природные аналоги	Соответствие продуктов из золы-уноса нормативам	Область применения
1	Магнетит, карбид железа	высококачественный охладитель плавки: окатыши, каолин, известняк	ГОСТ 2787-86 ТУ 14.1-019-1856-005-2003 ТУ 14.16-35-98 ТУ 14.9-404-97	металлургия
2	Кварц с обломками силикатных сфер, мелкий шлак	очищенный отсев гранитных и кварцитовых пород	ГОСТ 7484-78 ГОСТ 530-95 ГОСТ 16136-80	изготовление обжигового кирпича, теплоизоляционных покрытий
3	Кварц и мелкий шлак (материал подсыпок)	очищенный отсев гранитных и кварцитовых карьеров	ГОСТ 7484-78 ГОСТ 530-95 ГОСТ 8736-93 ГОСТ 22856-89 ДСТУ Б.В.2.7-32-95	изготовление обжигового кирпича, отсыпки автомобильных дорог заболоченных участков, для баллаستировки железнодорожных путей
4	Сорбенты (крупный восстановленный уголь с высокой пористостью)	высокозольный уголь для ТЭС, сорбенты	уголь марки АШ ТУ 2162-054-05795791-00 ГОСТ 4453-74	технологическое угольное топливо, сорбент очистки сточных вод
5	Сорбенты (мелкий восстановленный уголь с высокой пористостью)			
6	Карбид железа с тяжелыми сферами	высококачественный охладитель плавки: окатыши, каолин, известняк	ГОСТ 2787-86 ТУ 14.1-019-1856-005-2003 ТУ 14.16-35-98 ТУ 14.9-404-97	металлургия
7	Тяжелые мелкие сферы (от темно-серых до светлых, толстостенные)	перлит, вермикулит вспученный (обогащенный)	ГОСТ 10823-91 ГОСТ 12865-67 ДСТУ Б.В.2.7-128: 2006 ДСТУ Б.В.2.7-211: 2009	теплоизоляционный материал в качестве наполнителя бетонов, засыпок, производства утеплительных плиток, гипсокартона, шпаклевок
8	Тонкостенные светлые сферы	перлит, вермикулит вспученный (обогащенный)		
9	Заместитель цемента	цемент	ГОСТ 25818-91 ДСТУ Б.В.2.7-205: 2009 ДСТУ Б.В.2.7-119-2003	бетоны всех видов, керамический кирпич

3) немагнитная фракция промежуточного продукта стола, представленная глиноземисто-кремнистыми минералами, тонкими сферами черного и белого цвета, частицами углерода крупностью 0.05 – 0.40 мм (пригодна в процессе разлива сталей, наполнитель бетонов);

4) хвосты стола, представленные смесью глиноземисто-кремнистых частиц крупностью 0.04 – 0.10 мм с повышенным (до 18%) содержанием углерода (после флотации используется в качестве сорбентов в химической промышленности и присыпок в металлургической промышленности, а минеральная часть – как наполнитель бетонов и гидрометаллургии);

5) пенка миксера (угольная пульпа), представленная углеродистыми частицами с примесью тонких (менее 0.06 мм) силикатных частиц и мелких сфер (сорбент для извлечения поверхностно-активных веществ и нефтепродуктов в химической промышленности, а также присыпок в металлургической промышленности);

6) магнитный продукт концентрата коротконосного гидроциклона, представленный тяжелыми частицами 0.02 – 0.08 мм с преобладанием карбидов железа, тонких глиноземистых материалов, тонких

сфер черного цвета (пригоден в различных технологических стадиях в металлургии);

7) немагнитный продукт концентрата коротконосных гидроциклонов, представленный частицами 0.02 – 0.10 мм шпинелей, глиноземистых соединений и белых сфер (пригоден для производства тяжелых бетонов, продукт для гидрометаллургической или плазменной обработки);

8) концентрат длинноконусных гидроциклонов, представленный частицами 0.02 – 0.06 мм слабомагнитных преимущественно, частиц с повышенным удельным весом и черных сфер (является эффективным теплоизоляционным материалом, наполнитель бетонов, засыпок, производства утеплительных плиток, гипсокартона, шпаклевок и т.п.);

9) хвосты длинноконусных гидроциклонов, представленные легкими тонкими частицами размером менее 0.04 мм (преобладают 5 – 20 мкм) с листовато-чешуйчатыми частицами темного цвета (могут использоваться в различных видах продукции строительной индустрии – для замещения цемента и производства кирпичей).

Ранее установлено, что введение неклассифицированных зол-уносов Приднепровской ТЭС в бетон-

ные смеси 370 – 410 кг на 1 м<sup>3</sup> позволяет сократить расход цемента до 20% (Netesa, Palanchuk, & Netesa, 2013). Проведенные нами исследования по частичному замещению высокомарочного цемента ПЦ-400 классифицированными золами-уноса при изготовлении бетонов М 200 показали, что экономия цемента может достигать до 25% при добавлении 30% зольных продуктов с сохранением прочностных свойств.

**Таблица 4. Физико-керамические показатели образцов после их обжига в условиях ОАО “СИНТИЗ”**

№ п/п	Вещественный состав шихты, %			Изменение размеров образцов, %	Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	Открытая пористость, %	Водопоглощение, %	Механическая прочность, МПа
	исходная заводская шихта	классифицированная зола с циклона	классифицированная зола с грохочением					
1	100	—	—	–2.0	1.724	37.38	17.45	10.0
2	95	5	—	–0.4	1.756	36.28	15.55	12.0
3	90	10	—	0.0	1.689	38.65	16.92	10.0
4	85	15	—	+0.4	1.682	38.14	17.88	10.0
5	80	20	—	+0.4	1.658	38.27	19.07	10.0
6	95	—	5	–0.4	1.742	35.86	15.68	10.0
7	90	—	10	+0.4	1.751	35.19	15.94	11.2
8	85	—	15	+0.4	1.738	35.44	15.24	14.0
9	80	—	20	+0.8	1.725	35.83	15.77	12.8

Так, введение 5 и 10% классифицированных зол-уносов с гидроциклонов в состав исходной шихты способствовало уменьшению водопоглощения образцов на 3 и 10.8% соответственно. Экспериментально доказано, что наименьшее водопоглощение обжигового кирпича составило 10.14 и 12.6% при введении 5 и 15% классифицированных зол-уносов грохочением в воздушной среде.

Установлено повышение механической прочности изделий на 40 и 28% при введении в шихту 15 и 20% классифицированных сухим грохочением зол-уносов (Табл. 4). Показатель открытой пористости кирпича уменьшается в среднем на 5% при введении сухой классифицированной золы-уноса. Результаты исследований по применению переработанной золы-уноса в строительных материалах хорошо коррелируются с ранее полученными данными в работе (Thomas, 2007).

#### 4. ВЫВОДЫ

В работе представлены результаты комплексной переработки зол-уносов Приднепровской ТЭС в промышленно пригодные продукты.

В результате пневморазделения золы, отобранной с электрофильтров, получено два промышленных продукта – с пониженным содержанием углерода (5 – 8%), пригодного для строительной индустрии, и повышенным (более 10%), применяемого в металлургической промышленности, а с углубленной переработкой – в медицине.

Установлено повышение механической прочности строительного кирпича при введении классифицированных зол-уносов в состав исходной шихты.

На основе экспериментальных исследований разделения зол-уносов в воздушной и водной среде показана возможность получения до 13 промышленно пригодных продуктов для строительной, металлургической и химической промышленности.

Эксперименты по установлению влияния добавок классифицированных зол-уноса в исходную массу заводской шихты при изготовлении обжиговых кирпичей на ОАО “Синельниковская теплоизоляция” показали значительное улучшение физико-керамических показателей строительного кирпича. Результаты приведены в Таблице 4.

Для перехода к опытно-промышленному разделению зол-уносов Приднепровской ТЭС разработана и частично апробирована принципиальная схема установки сухого передела золы. В установке впервые использованы многочастотные разделители с системой механического многочастотного возбуждения, что в значительной мере повышает эффективность разделения сухой золы-уноса непосредственно с электрофильтров ТЭС.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают искреннюю благодарность директору ООО НКП “Геоинтек” канд. геол.-мин. наук С.Е. Поповченко за предоставленное оборудование, помощь в проведении экспериментов и консультации.

#### REFERENCES

- Cherepanov, A.A., & Kardash, V.T. (2009). Kompleksnaya pererabotka zoloshlakovykh otkhodov TES (rezul'taty laboratornykh i polupromyshlennykh ispytaniy). *Geologiya i Poleznye Iskopaemye Mirovogo Okeana*, (2), 98-115.
- Hadbaatar, A., Mashkin, N.A., & Stenina, N.G. (2016). Study of Ash-Slag Wastes of Electric Power Plants of Mongolia Applied to their Utilization in Road Construction. *Procedia Engineering*, (150), 1558-1562. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.111>
- Netesa, M.I., Palanchuk, D.V., & Netesa, A.M. (2013). Lightweight Concretes with Fly-Ash of Prydniprovsk Thermal Power Station. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 5(47), 137-145. <https://doi.org/10.15802/stp2013/17978>
- Shabarov, A.N., Aleksandrova, T.N., & Nikolaeva, N.V. (2016). To the Question of Complex Use of Ashes and Slag Waste CHP Plant. In *XVIII International Coal Preparation Congress* (pp. 603-607). Saint-Petersburg: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-40943-6\\_92](https://doi.org/10.1007/978-3-319-40943-6_92)



Shpirt, M.Ya. (1986). *Bezotkhodnaya tekhnologiya. Utilizatsiya otkhodov dobychi i pererabotki tverdykh goryuchikh iskopaemykh*. Moskva: Nedra.

Teryaeva, T.N., Kostenko, O.V., Ismagilov, Z.R., Shikina, N.V., Rudina, N.A., & Antipova, V.A. (2013). Fiziko-khimicheskie svoystva alyumosilikatnykh polykh mikrosfer. *Vestnik*

*Kuzbasskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, (5), 86-90.

Thomas, M.D.A. (2007). *Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete*. PCA Report IS548. Skokie, Illinois: Portland Cement Association.

## ABSTRACT (IN RUSSIAN)

**Цель.** Экспериментально подтвердить возможность полной утилизации зол-уносов Приднепровской ТЭС путем ее переработки в промышленно ценные продукты, используя сухую гравитационную классификацию золы с электрофильтров и водно-гравитационное разделение золы из золоотвала.

**Методика.** Классификация зол-уносов произведена в лабораторных условиях с применением модернизированного обогащательного оборудования по двум направлениям: пневморазделение золы непосредственно с электрофильтров с применением специально подобранного вибрационного грохота; гидроразделение исходного продукта из золоотвала с использованием модернизированных центрифуг и гидроциклонов.

**Результаты.** Разработано технологическое решение комплексной переработки зол-уноса, основанное на “сухом” гравитационном разделении золы с электрофильтров и “мокром” гравитационном разделении золы с накопителей и отвалов ТЭС. Установлено, что введение до 33% активной золы на 1 м<sup>3</sup> бетона дает возможность экономить до 25% цемента и повышать прочность бетонных конструкций до 5%. Введение продуктов, полученных из отходов ТЭС, в производство стройматериалов позволит снизить долю энергозатрат до 20 – 25%, что является главным условием конкурентоспособности строительной продукции. Смесь глинозем-кремнистых продуктов позволяет снизить использование глины в металлургии до 50%. Углеродные продукты являются дешевыми заменителями для производства отдельных видов сорбентов. Разработанное проектное решение позволяет сократить ресурсопотребление, повысить энергетический потенциал региона и уменьшить техногенную нагрузку на окружающую среду.

**Научная новизна.** Установлена временная зависимость снижения поверхностной активности полученных продуктов переработки из сухой золы-уноса непосредственно с электрофильтров. При переработке золы-уноса в промышленно пригодные продукты сухим гравитационным разделением достигаются наилучшие физические параметры сырья с наибольшей удельной активностью.

**Практическая значимость.** Реализация результатов исследований позволит получить промышленную продукцию: компоненты при изготовлении строительных материалов (бетон, пено- и газобетон, кирпич), теплоизоляционного материала, сырья для сталелитейной отрасли, сорбентов в химической промышленности и раскислителей в металлургической. Предложенное технологическое решение является полностью экологически безопасным и безотходным.

**Ключевые слова:** зола-уноса ТЭС, комплексная переработка, промышленные продукты, ресурсосбережение

## ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

**Мета.** Експериментально підтвердити можливість повної утилізації зол-винесення Придніпровської ТЕС шляхом її переробки у промислово цінні продукти, використовуючи суху гравітаційну класифікацію золи з електрофільтрів і водно-гравітаційне розділення золи із золовідвалу.

**Методика.** Класифікація зол-винесення проведена в лабораторних умовах із застосуванням модернізованого обладнання за двома напрямками: пневморозділення золи безпосередньо з електрофільтрів із застосуванням спеціально підбраного вібраційного грохота; гідророзділення вихідного продукту із золовідвала з використанням модернізованих центрифуг та гідроциклонів.

**Результати.** Розроблене технологічне рішення комплексної переробки зол-винесення, що засноване на “сухому” гравітаційному поділі золи з електрофільтрів та “мокрому” гравітаційному поділі золи із накопичувачів та відвалів ТЕС. Встановлено, що введення до 33% активної золи на 1 м<sup>3</sup> бетону дає можливість економити до 25% цементу й підвищувати міцність бетонних конструкцій до 5%. Додавання продуктів, отриманих з відходів ТЕС, у виробництво будматеріалів дозволить знизити частку енерговитрат до 20 – 25%, що є головною умовою конкурентоспроможності будівельної продукції. Суміш глинозем-кременистих продуктів дозволяє знизити використання глини у металургії до 50%. Вуглецеві продукти є дешевими заміниками для виробництва окремих видів сорбентів. Розроблене проектне рішення дозволяє скоротити споживання ресурсів, підвищити енергетичний потенціал регіону та зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище.

**Наукова новизна.** Встановлено залежність зменшення у часі питомої активності отриманих продуктів переробки із сухої золи-винесення безпосередньо з електрофільтрів. При переробці золи-винесення в промислово придатні продукти сухим гравітаційним поділом досягаються найкращі фізичні параметри сировини з найбільшою питомою активністю.

**Практична значимість.** Реалізація результатів досліджень дозволить отримати промислову продукцію: компоненти для виготовлення будівельних матеріалів (бетон, піно-і газобетон, цеглу), теплоізоляційного матеріалу, сировини для сталеливарної галузі, сорбентів у хімічній промисловості та розкислювачів у металургійній. Запропоноване технологічне рішення є повністю екологічно безпечним та безвідходним.

**Ключові слова:** зола-винос ТЕС, комплексна переробка, промислові продукти, ресурсозбереження

## **ARTICLE INFO**

Received: 22 December 2016

Accepted: 17 March 2017

Available online: 30 March 2017

## **ABOUT AUTHORS**

Yevhen Perkov, Candidate of Geological Sciences, Senior Research of the Analytical-Technological Research Centre, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 7/1212, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: [perkov@i.ua](mailto:perkov@i.ua)

Tetiana Perkova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Hydrogeology and Engineering Geology Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 1/53, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: [ti86@i.ua](mailto:ti86@i.ua)